Det manglende univers

Mørkt stof og mørk energi

Hastighedskurver

- Fritz Zwicky, 1933, studerede Coma clusteret, og fandt at der manglede ”noget” for at gallakserne ikke ”forsvandt” med den hastighed han målte
- I 1939 studerede Babcock Andromeda galaksen, og fandt dens hastighedskurve. Her mangler der også noget.

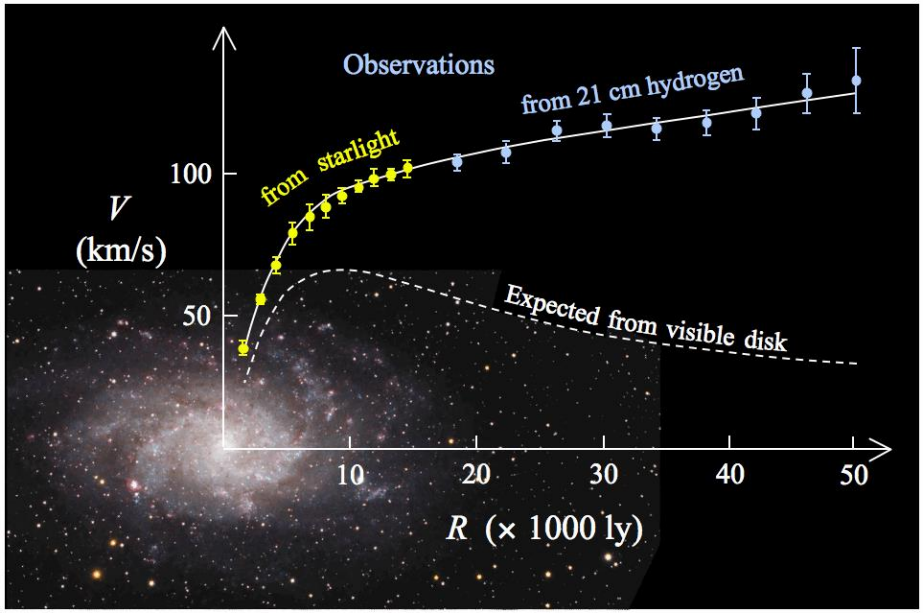
Hastigheds-kurve: En stjernernes tangentielle hastighed i en galakse, som funktion af afstanden til centrum af galaksen.

Hastighedskurver

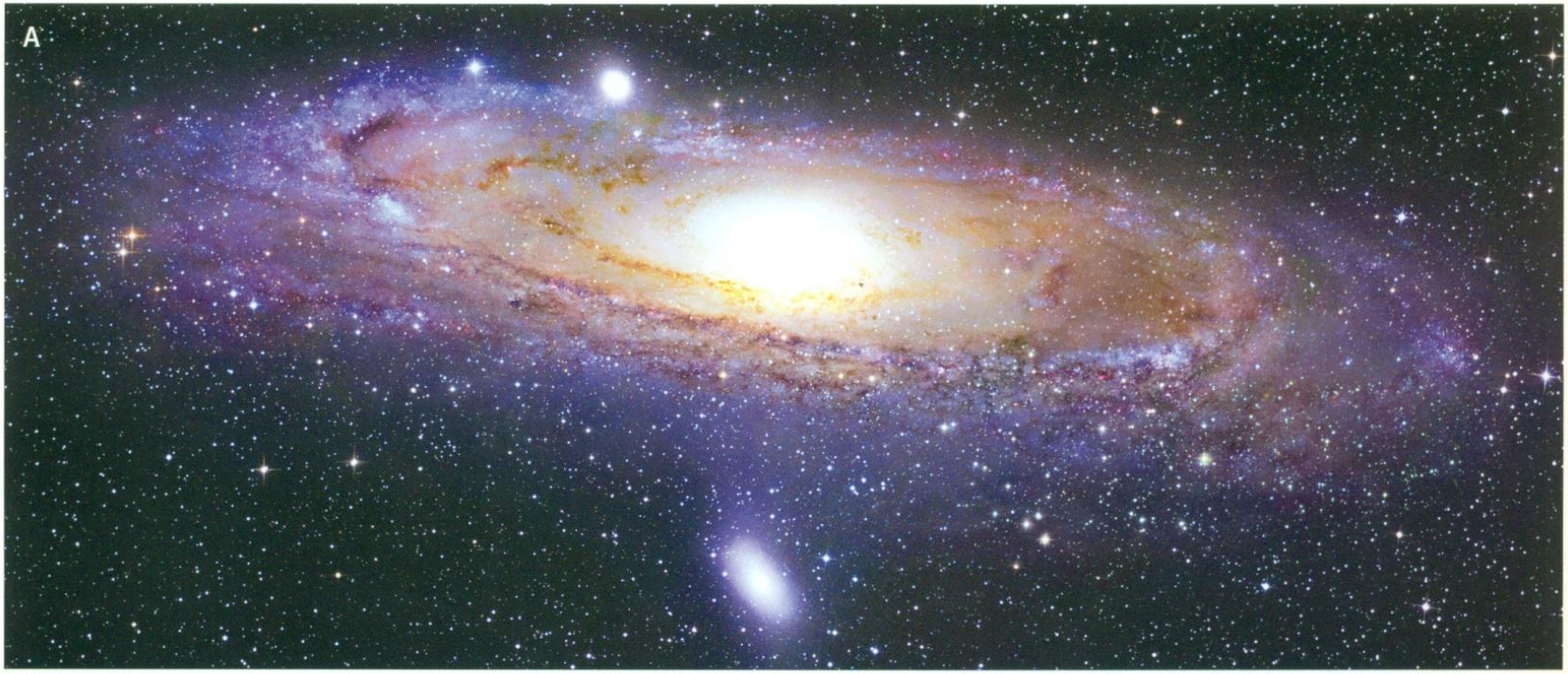
- Hvis vi bruger Newton mekanik, så er hastigheds-kurven givet ud fra:

$$V(r) = \sqrt{\frac{G\,M(r)}{r}}$$

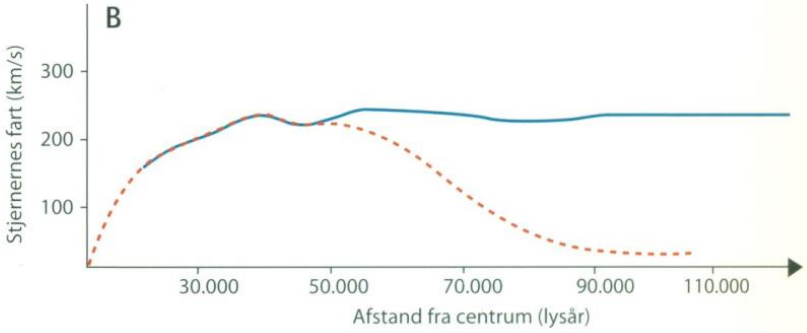
- Triangulum galaksen, M33
- Ovenstående tendens passer ikke med nogen galakser



Hastighedskurver



5.2 A: Andromedagalaksen, som er vores nærmeste nabogalakse, ligner Mælkevejen. B: Den røde klokkeformede kurve viser stjernernes forventede fart omkring galaksens centrum, hvis man ikke inkluderer mørkt stof. Den blå fladere kurve er observeret fart. (A: R. Gendler, B: DARK)



Hastighedskurver

- Der mangler noget synlig masse, typisk ser man kun 1/5 at det er ”bør” være
- Tendensen er den samme for alle galakser
- Tendensen er ens for det synlige lys og radio området
- Galakse clustre ser også ud til at have højere hastigheder end hvad man kunne forvente af den synlige masse

Stabilitet af galakser

- Ostriker/Peebles, 1969 undersøgte stabiliteten af mælkevejen (2000 stjerner) simuleret på computer
- I 1985 var modellerne oppe på 100t+ stjerner
- Konklusionen fra de numeriske modeller er:
  - Der mangler ”noget” udenfor galakse planet
  - Det der mangler i galakserne skal være i en ”halo” rundt om galaksen

  eller
  - Newtons mekanik fungerer ikke på noget så stort som en gallakse
- MOND (Modified Newton Dynamics), Mordehai Milgrom, 1983

Stabilitet af galakser

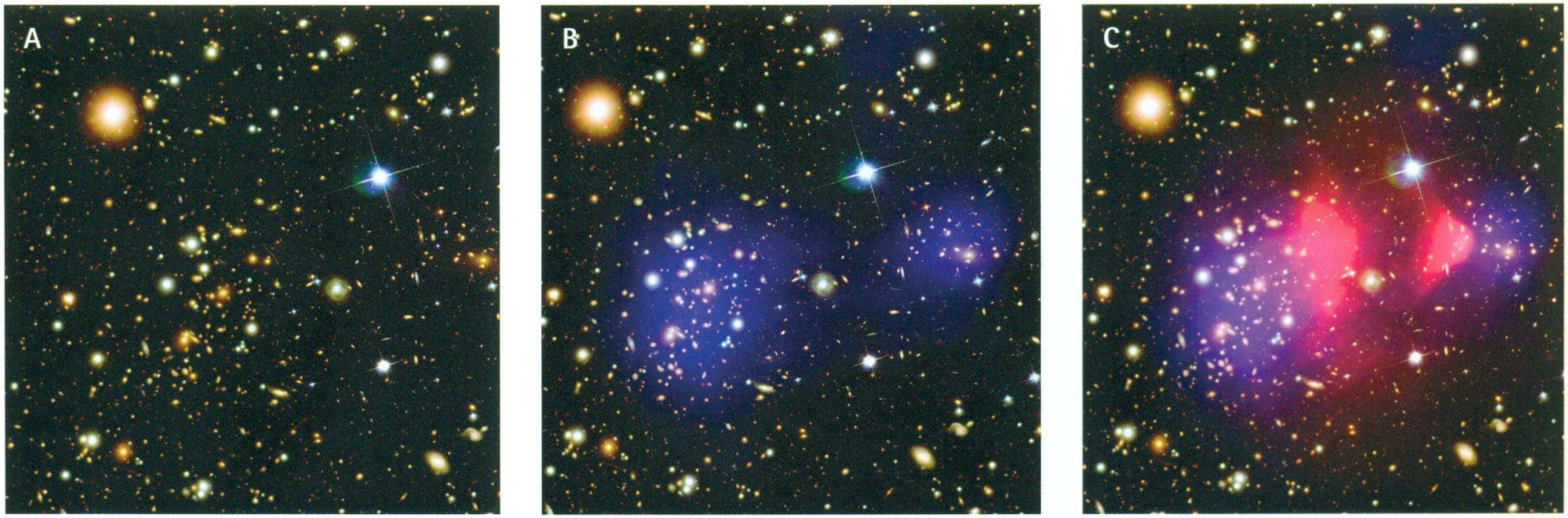
- Film af hvad der sker hvis vi antager mørkt stof i en galakse, og fjerner den:

  https://www.youtube.com/watch?v=YA-boPQtSIc
- Modellerne kræver i mange tilfælde at der skal være op til 10 gange så meget mørkt stof, som ”rigtigt” stof for at galakserne er stabile

Vi er altså ved at opfinde stof i universet, svarende til 5-10 gange så meget som vi kan se, for at forklare galakserne som vi ser dem i dag.

Hvad er det ??
Hvad betyder dette for vores ‘Big Bang’ model ??

Bullet Cluster



5.4 Projektilhoben (Bullet Cluster) består af to galaksehobe der er stødt sammen. I Projektilhoben er der en meget tydelig forskel på fordelingen af gassen (rødlig) og den samlede masse (blålig). Det kan kun forklares hvis galaksehoben er indlejret i en sfære af mørkt stof i form af partikler som fra naturens side har en meget lille vekselvirkning og dermed en meget lille sandsynlighed for sammenstød. A: Galakserne i Projektilhoben observeret i synligt lys. De befinder sig ca. 3,4 mia. lysår væk, så hver enkelt lysende prik er en galakse (og enkelte forgrundsstjerner). Man kan skelne to klumper henholdsvis lidt til venstre og til højre for midten. B: Fordelingen af det mørke stof i Projektilhoben er blevet kortlagt ved at benytte den som gravitationel linse. Der er to store klumper af mørkt stof med samme positioner som klumperne af galakser (blå). C: Røntgenstrålingen fra gassen vist som en rødlig tåge. Den sjove form af gassen er en chokfront som skyldes sammenstødet. Den lille galaksehob til højre kom for nogle hundrede millioner år siden fra venstre og bevægede sig gennem den større hob. (A og B: NASA/STScI, C: NASA/CXC/CfA)

Dansk astronomi i kikkerten, 2009

Hvad er så mørkt stof

- MACHO – Massive Compact Halo Objects
- Neutrino
- WIMP – Weakly Interacting Massive Particles

- + andre partikler (axioner, neutralinoer, …) og alternative forklaringer

MACHO

Massive Astrophysical Compact Halo Object

- Fællesbetegnelse for almindeligt stof som er ‘usynligt’ af en årsag
- Kandidater kan være:
  - ‘Stjerner’ på max. 50% af solens vægt (‘Failed stars’, brune dværge)
  - Sorte dværge (gamle neutronstjerner)
  - Små sorte huller, eller sorte huller uden for galakse centrum

Observationer (tyngde-linser) viser at max. 20% af den manglende masse kan forklares med disse elementer.

Teorierne for Big Bang siger stadig også at meget stof ikke kan være ‘almindeligt stof’.

Neutrinoer

- Neutrinoer er ‘første kandidat’ fordi det er en partikel vi ‘kender’
- $1\ cm^3$ indeholder 300 neutrinoer, så selv en lille masse kan give et stort bidrag til den manglende masse
- Neutrinoens masse er større end nul
- Men den er sikkert kun 0,32 eV
  Til sammenligning vejer en elektron 511.000 eV

Alt i alt kan neutrinoer ikke være en kandidat, fordi de er for lette.
Hvis det mørke stof var lavet af neutrinoer, så ville det have en lidt højere koncentration i galakser, men ikke meget.
Det ville være spredt mere ”overalt”, og det er ikke det man ser det mørke stof er.
‘Neutrinoer’ er et eksempel på at forklare mørkt stof med ”varmt mørkt stof”.

WIMP

WIMP – Weakly Interacting Massive Particle

Egenskaber:

- Det skal være tungt; masse > 100 GeV
  Sammenligning: Higgs partiklen har en masse på 125 GeV
- Det må ikke kunne ses (afkoblet fra den elektriske kraft)
- Sandsynligvis er det også usynligt for den stærke kernekraft
- Det er mere muligt at det kan ses med den svage kernekraft
- Tyngdekraft

Big Bang – CMB

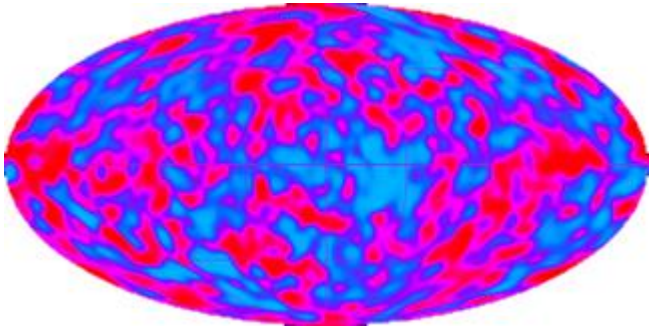
Mørkt stof kan hjælpe med at forstå hvordan fluktuationer store nok til at lave galakser og filamenter er dannet.

- Universet er opstået for ca. 13,8 mia. år siden
- Lige efter formationen kom inflationsperioden (10^{-33} - 10^{-32} sek.)
  Inflationen kræver at universet har en flad geometri.
- Geometrien af universet bliver bestemt af hvor meget stof og energi der er i det.
  Ca. 5 H-atomer/m^3, giver en flad geometri og kaldes den 'kritiske tæthed', $\Omega = 1$.
- Stof og stråling (lys) blev frakoblet efter ca. 380.000 år, hvor temperaturen var faldet så meget at Hydrogen og Helium kunne blive dannet. Det er her den kosmiske baggrundsstråling (CMB) bliver dannet.

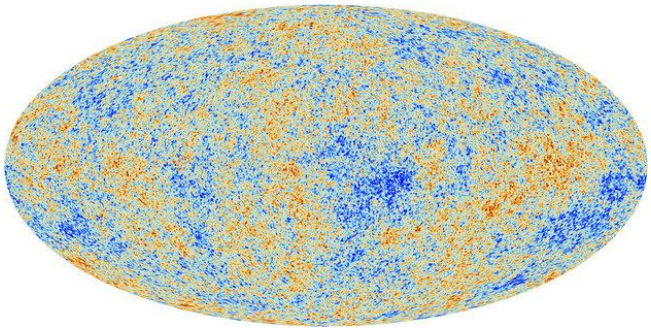
Mikrobølge baggrunds strålingen

COBE (1990)
Cosmic Background Explorer

Sortlegeme stråling med temperatur på 2,73K
$^{\delta T}/_{T} = 1{:}\,100.000$



Planck (2013)
ESA



Forudsigelsen af mikrobaggrunds-strålingen fra modellerne passer rigtig godt.

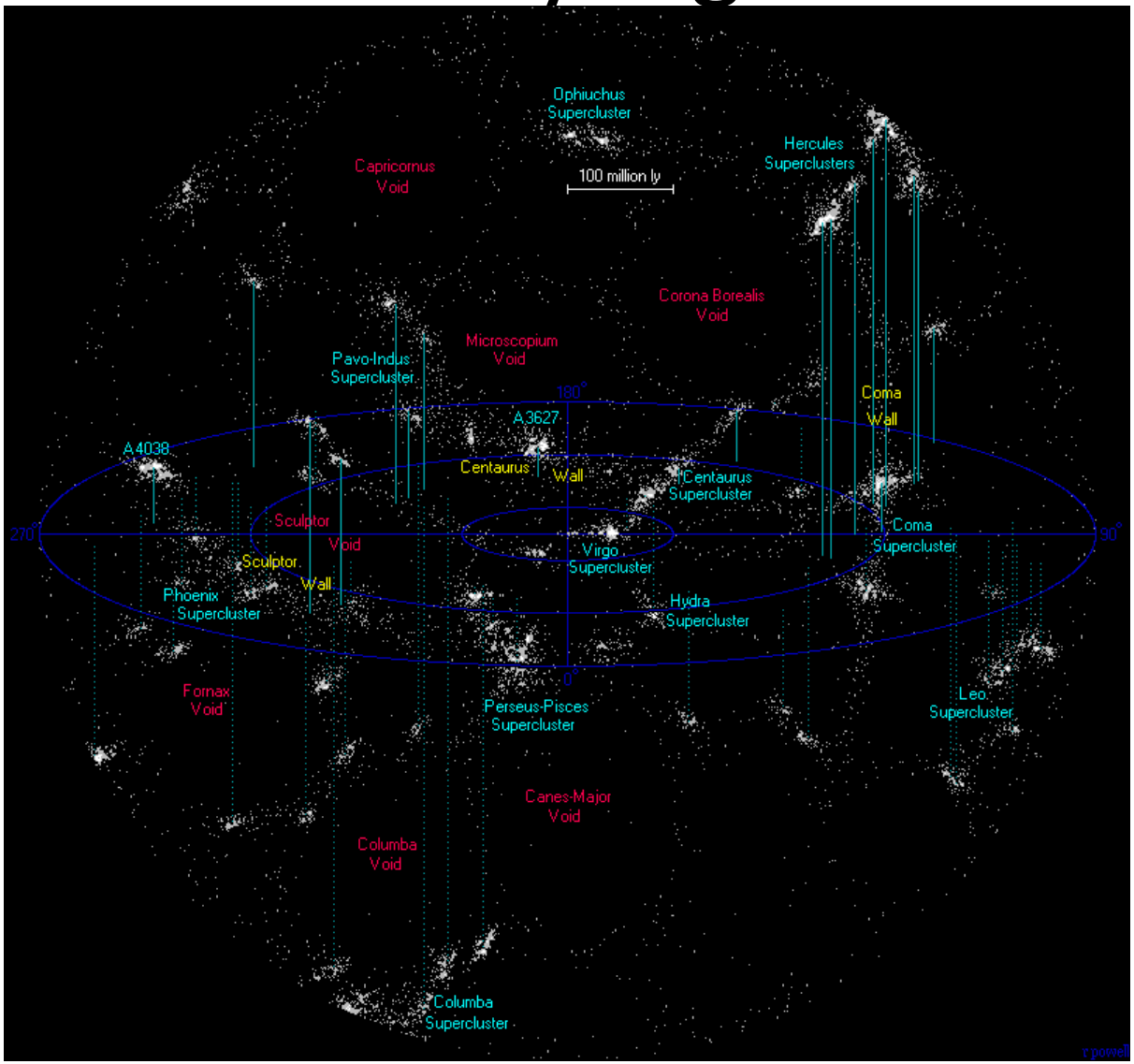
Mikrobaggrunds-strålingen er meget jævn.

Big Bang - CMB

- Baggrundsstrålingen (CMB) er meget jævn. Den er det samme fra næsten alle punkter på himlen.
- Big Bang modellerne for universet kræver en lille ujævnhed på ca. ($^{\delta\rho}/_{\rho}$) 1:100.000
- Vi har fundet galakser med en rødforskydning på 8.6, og en afstand på 13,1 mia. lysår
- Opbygningen af universet, med filamenter og galakser sætter begrænsninger på modellerne

Selvom 1:100.000 er en meget lille ujævnhed, så er den vigtig for at få dannet klustre og filamenter i universet.

Det synlige univers



"Nearsc" by Richard Powell - http://www.atlasoftheuniverse.com/nearsc.html. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nearsc.gif#/media/File:Nearsc.gif

Big Bang - CMB

(Tegning)

- Hvis WIMPs findes med en vægt på 100 GeV, så kan de forklare hvorfor tyngdekraften har fået fat ”tidligere”
- Dette betyder at man får dannet den nødvendige ujævnhed på 1:100.000 da baggrundsstrålingen bliver dannet
- Numeriske modeller viser så også at hvis man har mørkt stof så
  - Bliver der dannet galakser inden klustre og filamenter bliver dannet
  - Galakser bliver dannet tidligere, ved højere z. Mere konsistent med observationer.

- med andre ord: En tung partikel i Big Bang modellerne passer fint.

Mørkt stof

- Big Bang modellerne forudsiger en mængde stof i universet svarende til den kritiske tæthed der giver et fladt univers
- Af det kan vi se ca. 4,4% som almindeligt stof som gas og stjerner
- Vi kan se i galakser og galakse clustre at der er andre ca. 23% som vi IKKE kan se

- Men der er stadig langt op til 100%

Mørk energi

- Der er 2 vigtige tal som fortæller meget om vores univers:
  - Hubble konstanten: H_0
  - Den gennemsnittelige energi-tæthed Ω
- Historien om mørk energi er en fortælling om at finde geometrien af universet.
  Altså om at finde ud af om universet ender med at ekspandere for evigt, eller ender i et ”Big Crunch”.

Mørk energi

- Omega (Ω) kommer oprindeligt ud af den generelle relativitets teori
- Den er den tæthed af stof som giver et fladt univers i Friedmann-ligningerne

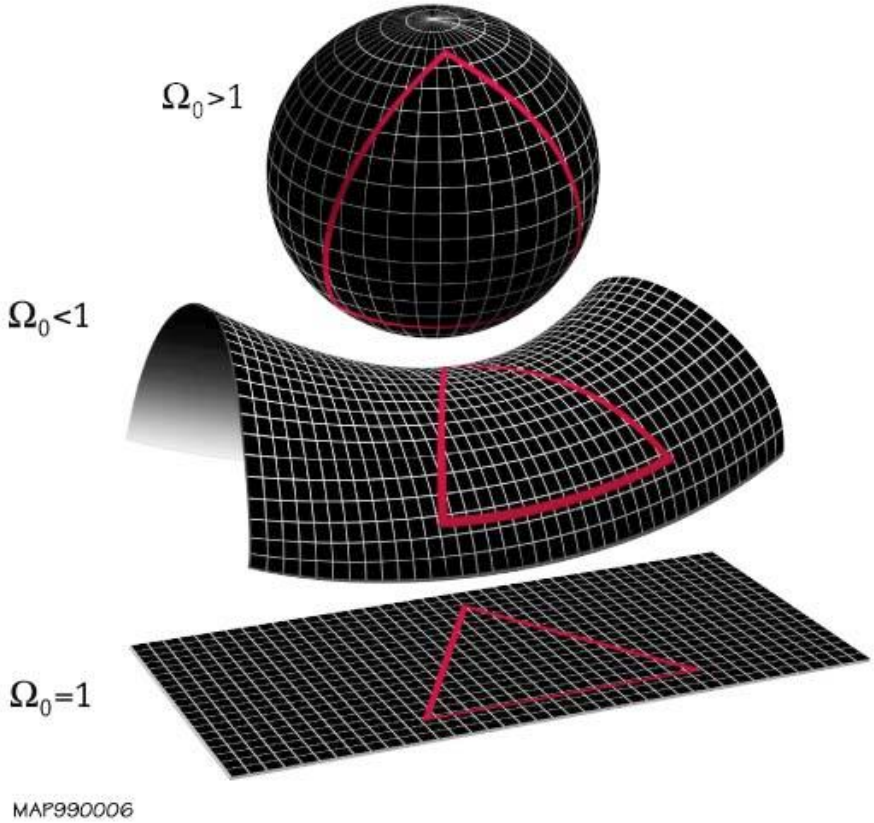
$$\Omega \equiv \frac{\rho}{\rho_c} = \frac{8\pi G\rho}{3H^2}. \qquad \rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}.$$

- Hvis $\Omega < 1$ er universet åbent
  Hvis $\Omega = 1$ er det fladt
  Hvis $\Omega > 1$ er universet lukket
- Friedmann løsningen i den generelle relativitetsteori inde holder en nul-punkts energi, Λ.

Wikipedia (Friedmann)

Mørk energi

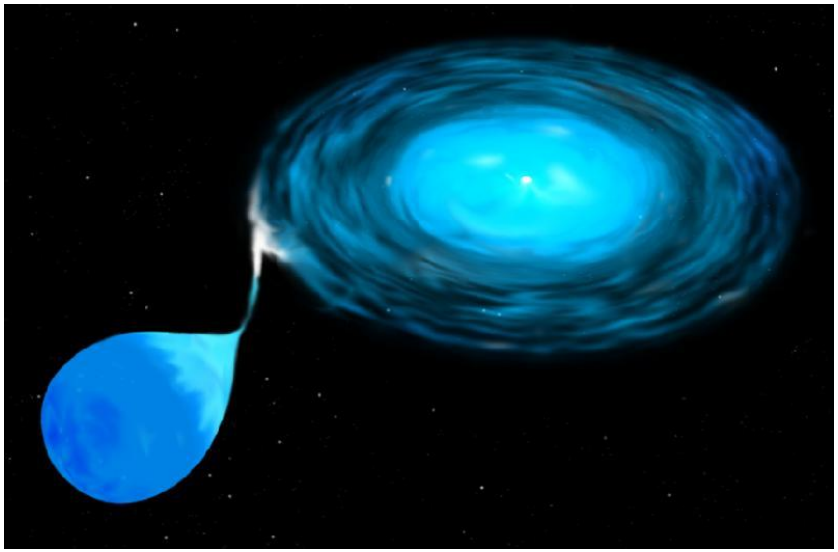
Hvis vores verden havde haft 2 rumlige dimensioner i stedet for 3, havde vi kunnet tegne de 3 tilfælde således:



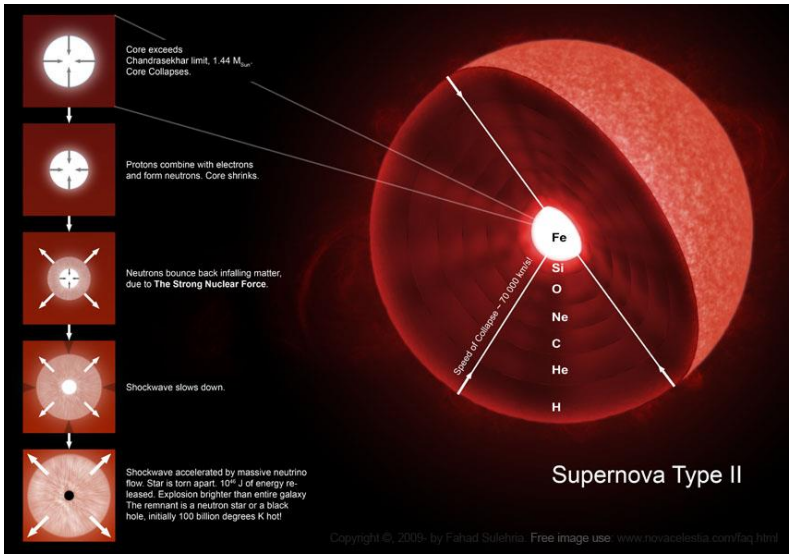
(Wikipedia, Flatness problem)

Mørk energi - Supernovajagten

- Lys fra supernovaer med høj rødforskydning har haft tid til at ”mærke geometrien”



Type Ia supernova

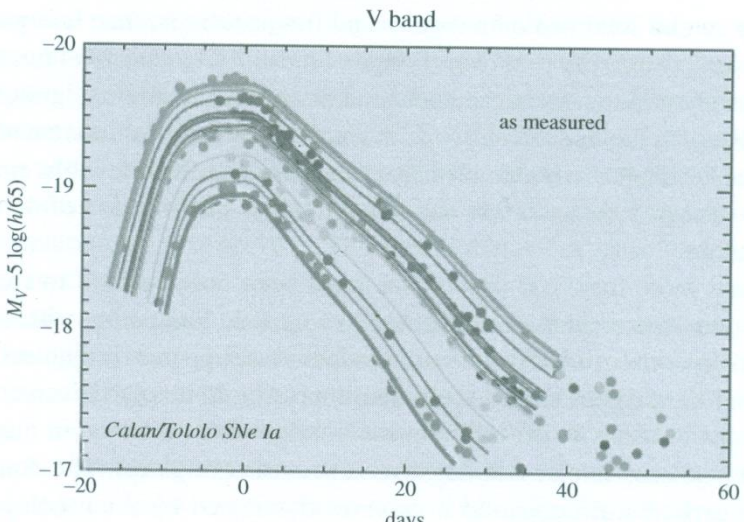


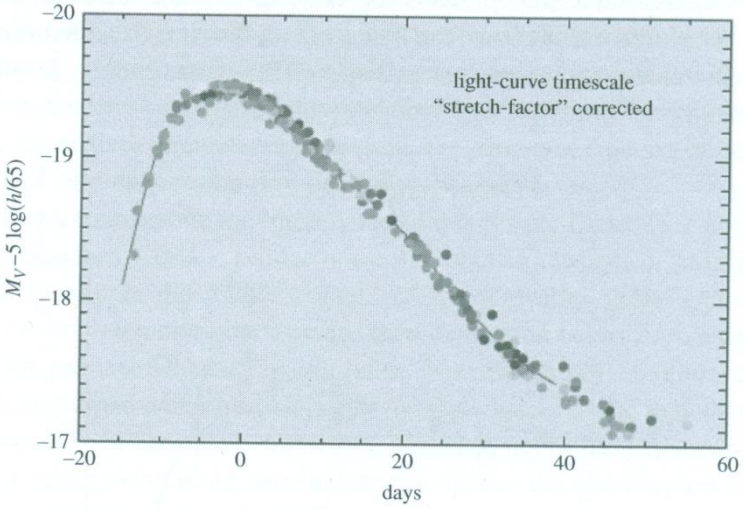
Type II supernova

Type Ia kaldes ‘standard candles’, fordi man kan bruge dem som målepinde

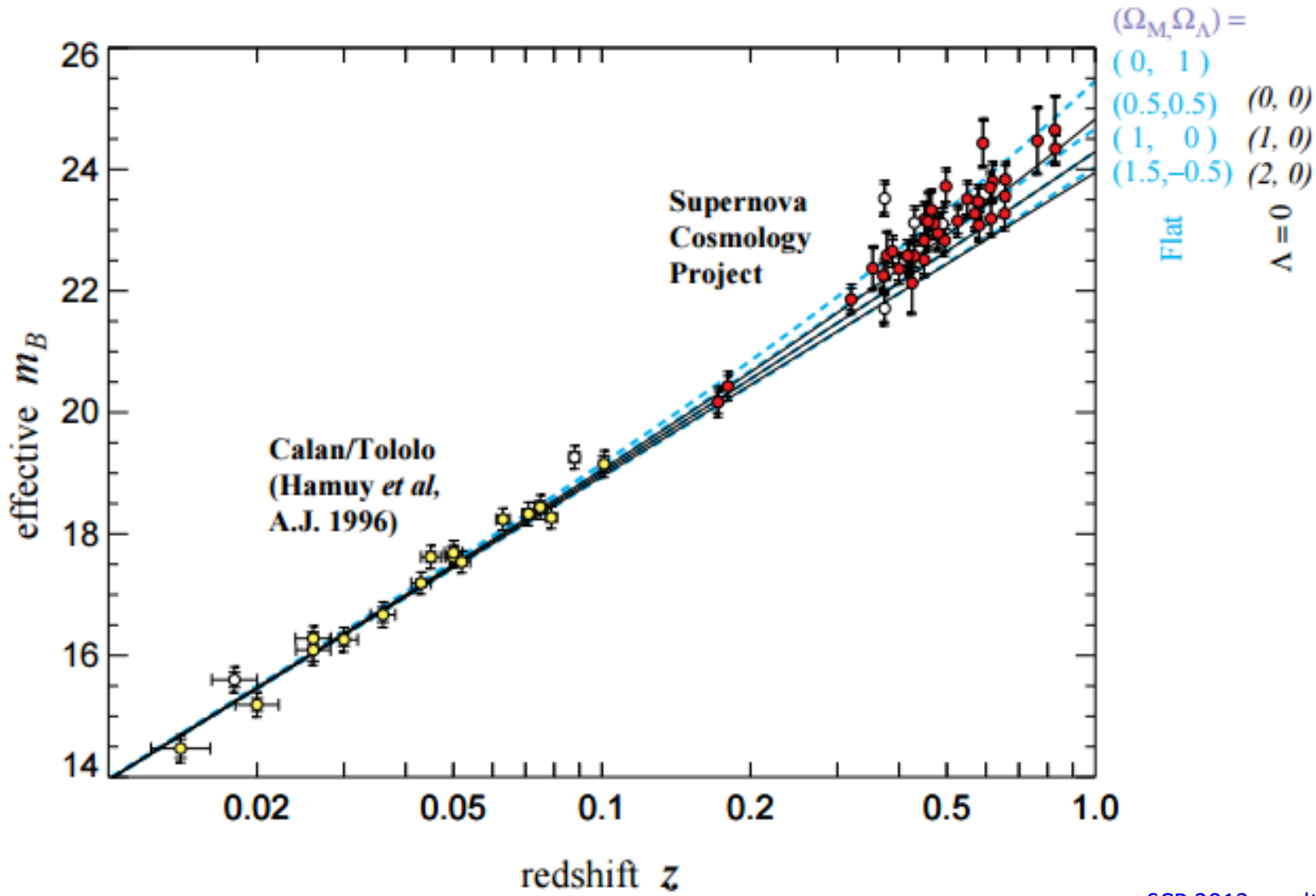
Mørk energi - Supernovajagten

- Fjerne supernovaer kan man finde fordi de lyser op kort tid.
- Fordi type Ia er ”ens” kan man bruge dem til at finde en sammenhæng mellem afstand og rødforskydning
- To grupper begyndte at lede efter supernovaer i 1994, SCP (Supernova Cosmology Group) og High-z gruppen
- Resultater blev offentliggjort 1998 inden for få uger fra hinanden
- De fik Nobel prisen i 2011 for arbejdet





Mørk energi - Supernovajagten

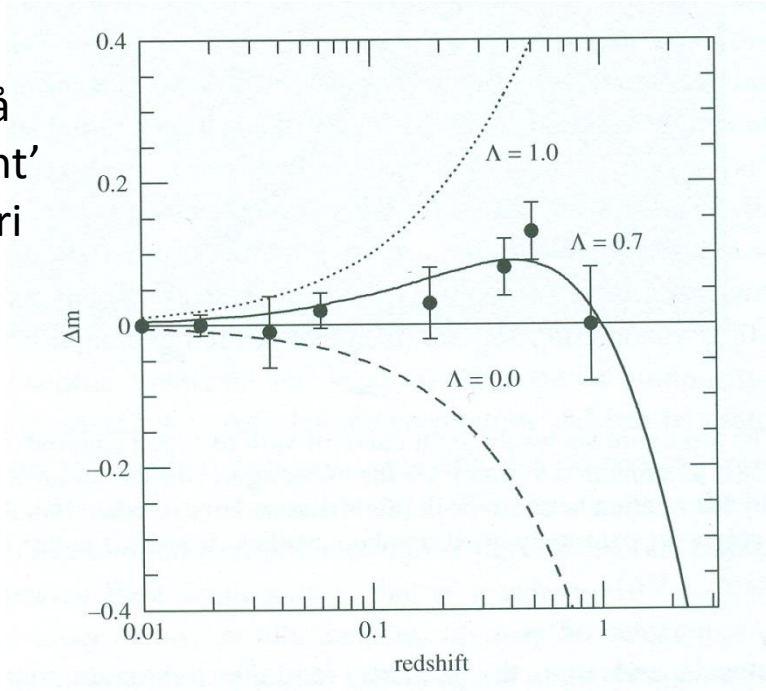


SCP 2013 resultater

Mørk energi - Supernovajagten

- Universets udvidelse accelererer.
- Dette tolker vi som en energi i det tomme rum, som gør at det udvider sig, hurtigere og hurtigere.

Den bedste teoretiske forklaring på dette er 'den kosmologiske konstant' i Einsteins generelle relativitetsteori (Λ).



Tonry (2003)

Mørk energi - baggrundsstrålingen

- Baggrundsstrålingen har rejst mod os siden 380.000 år efter Big Bang
- Fluktuationerne på 1:100.000 kommer fra de områder der dengang var inden for samme horisont
- Hvordan vi ser fluktuationerne i dag, afhænger af hvordan geometrien af universet er
- Derfor kan man ved at måle baggrundsstrålingen, finde ud af universets geometri

Mørkt stof - Planck

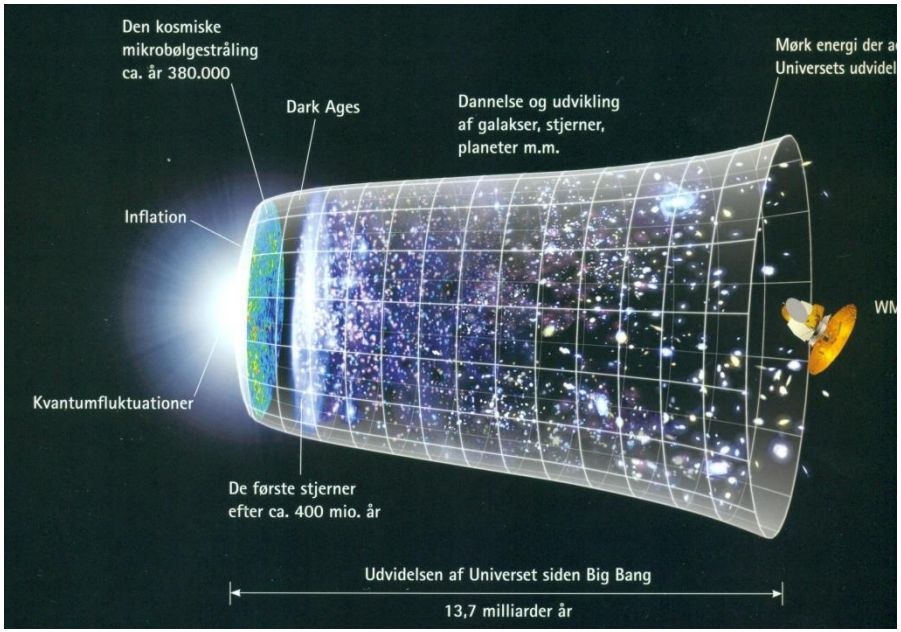
- Planck satellitten er den sidste der kan målt baggrundsstrålingen (2013)
- Resultaterne kommer fra den ved at simulere forskellige computer modeller af Big Bang, og sammenligne baggrundsstrålingen:

Ω_m = 30,8%
Ω_Λ= 69,2%
H_0= 67,8 km/s/mpc
Universets alder: 13,8 mia år

Planck, 2013 resultater

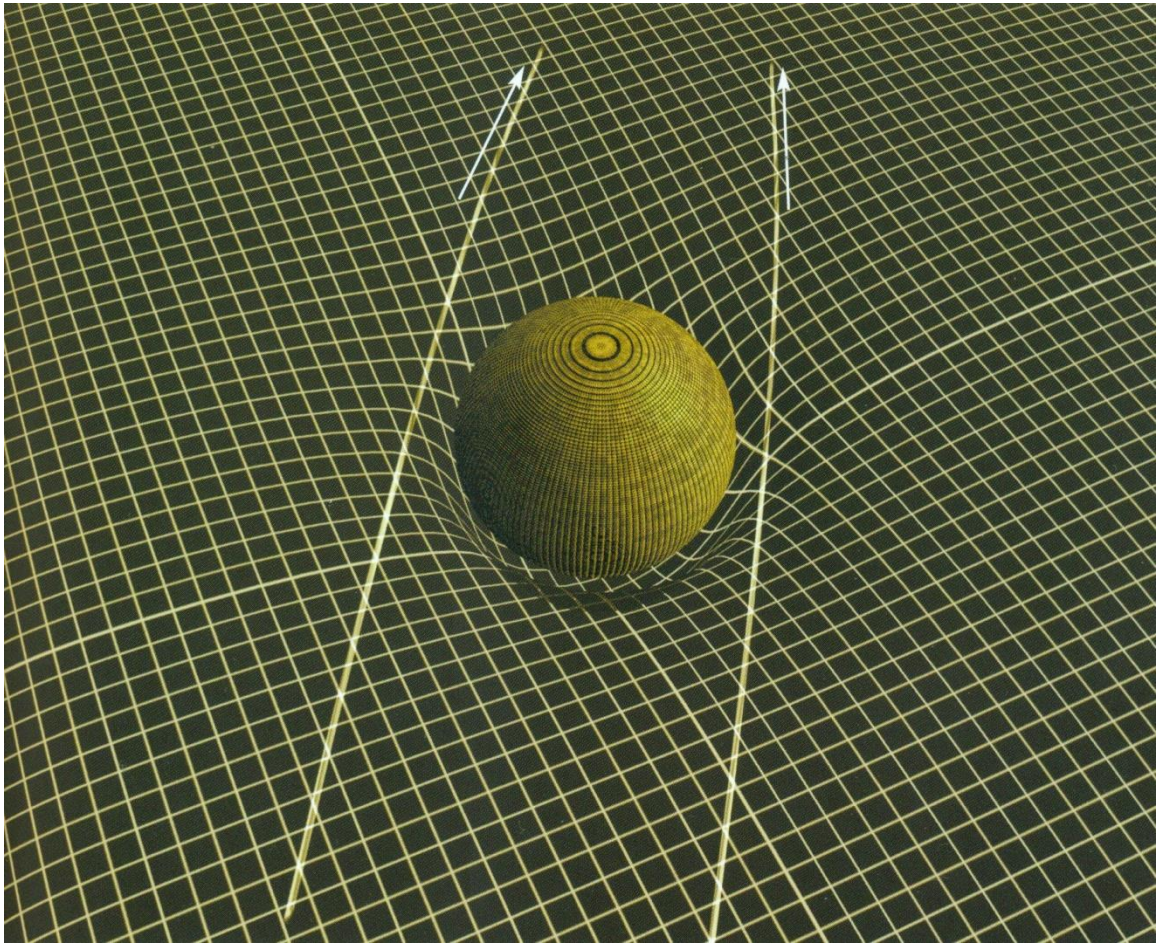
Opsummering

- Massen i universet er tæt på den kritiske tæthed
- Men universet udvider sig hurtigere og hurtigere
- Der er endnu ikke nogen der har en ide om hvad 'mørkt stof' består af
- Den bedste model vi lige nu har for mørk energi er at det er nul-punkts energien fra Einsteins generelle relativitets teori, Λ.

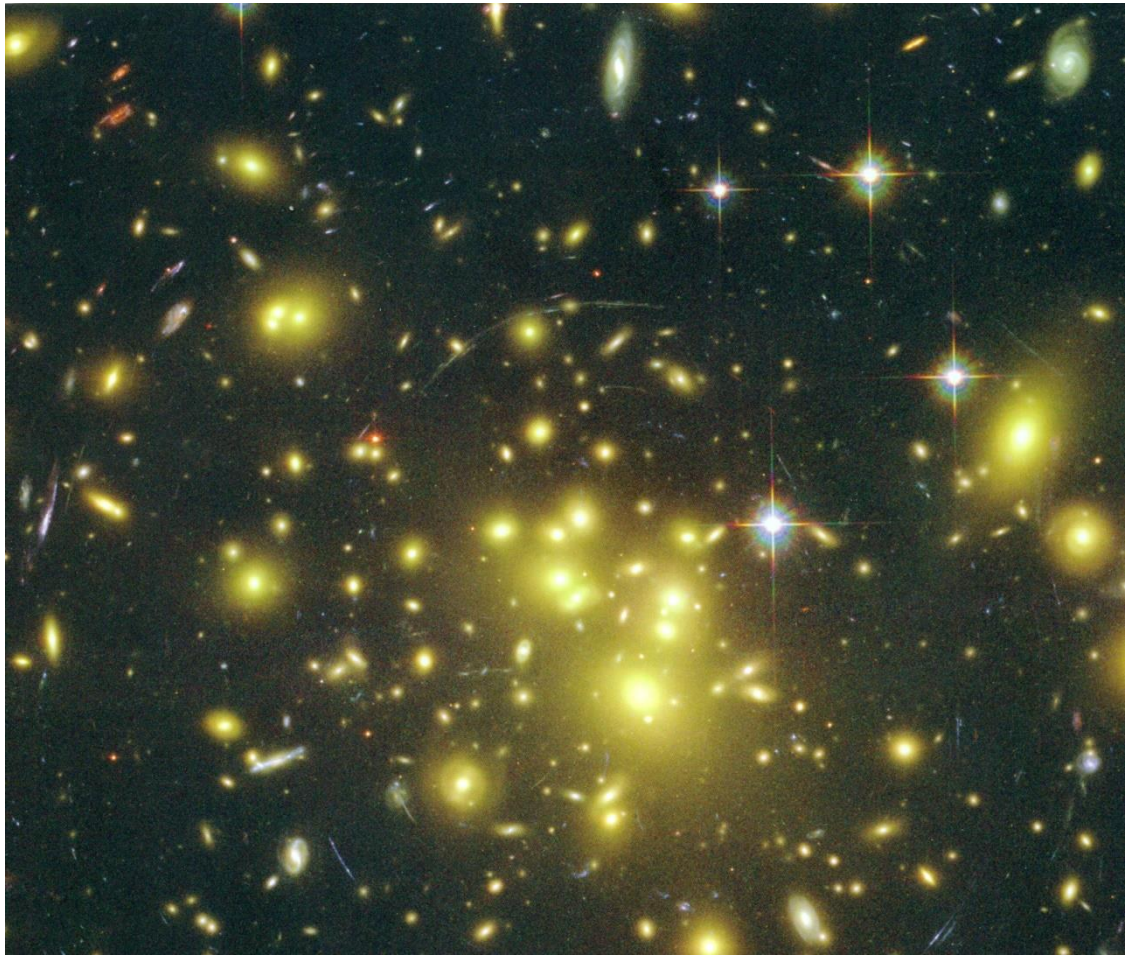


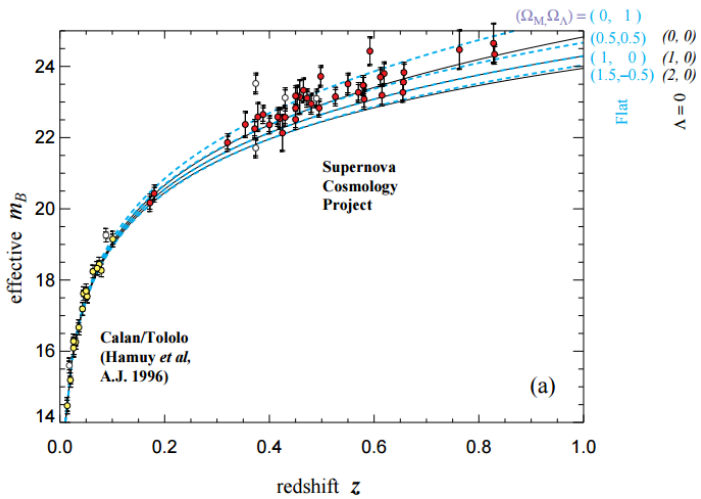
Pause ?

- Indledning – Hvad er det vi er på jagt efter
- Hvornår begyndte dette? – rækkefølge i forhold til andre opdagelser
- Hastighedskurver for gallakser
  - Beregning for hvad man forventer
  - MOND
  - Er der andre muligheder ??
- Stabilitet af gallakser – video
- Cluster dynamik
- Lensing og mikrolensing
- Supernovaer
  - udvidelse af universet
  - Antal og hastighedskurver
  - Bestemmelse af Hubble konstanten
- Mikrobaggrundsstrålingen
  - Mulighed for inflation; inflations krav om et fladt univers
  - Omega og Hubble
- Teori
  - Hvad er det mørke stof? (WIMP, baggrund for det)
  - Supersymmetri



Abell 1689





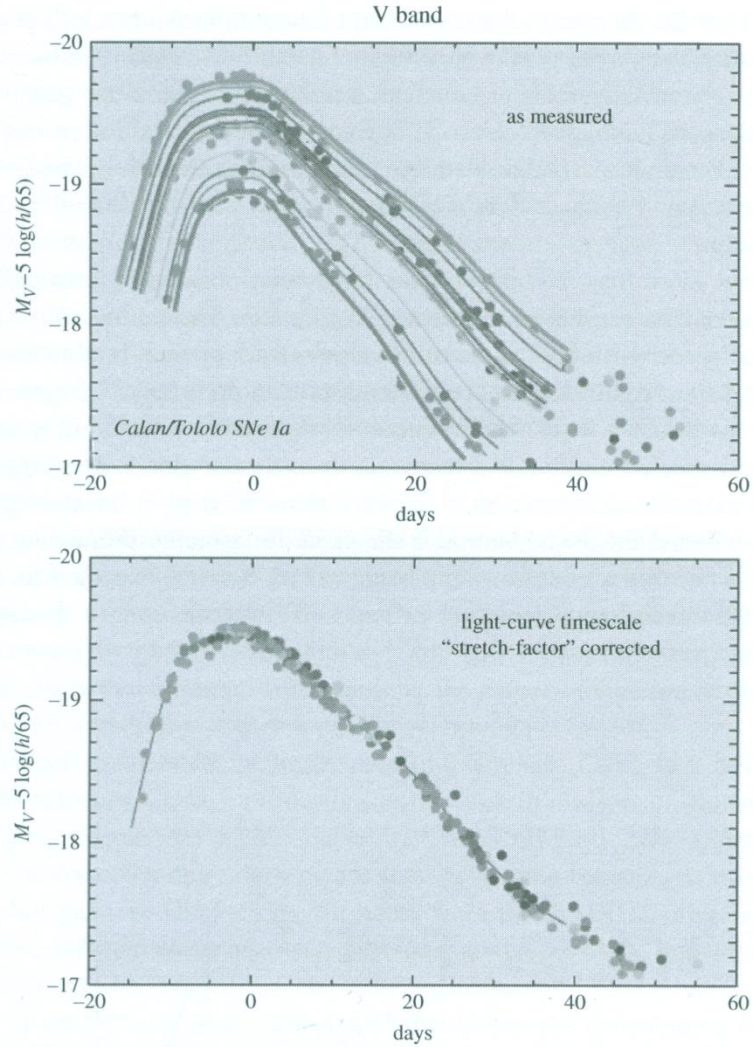


Fig. 9.1. The top figure shows the light curve of various type I supernovae (absolute brightness as a function of time). On the lower figure, the curves are all plotted corrected by the relation between peak brightness and decay time. This illustrates that these events are extremely good standard candles (from Perlmutter 2003).